

- PN - DE19941917 A 20000629
- PD - 2000-06-29
- PR - DE19991041917 19990717; DE19981059361 19981222
- OPD - 1998-12-22
- TI - Monitoring and regulating especially oil or gas-fired burner systems involves monitoring for coincidence within certain bandwidth between initial and operating data using time correlation
- AB - The method involves producing a time-frequency-noise amplitude graph containing. the ignition process, normal burner operation, addition of further burner stages if appropriate and/or continuous regulation for an optimally adjusted burner system. A frequency-noise amplitude graph is produced during normal operation from acoustic monitoring (5,6) signals. An evaluation unit (15) monitors for coincidence within a certain bandwidth between the initial and operating data using time correlation and indicates a fault if the bandwidth is exceeded.
- IN - SCHRAMEYER ALBERT (DE); ESTER STEPHAN (DE)
- PA - WOEHLE MESGERAETE KEHRGERAETE (DE)
- EC - F23N5/16 ; F23D14/72B ; G01H3/00
- IC - F23N5/16 ; F23N3/00 ; F23D14/60 ; G01H13/00
- CT - \*\*\*\*\* Citations of C2-Document: \*\*\*\*\*  
 - DE19607418 A1 [ ]; FR2490786 A1 [ ]; US3635018 A [ ]

© WPI / DERWENT

- TI - Monitoring and regulating especially oil or gas-fired burner systems involves monitoring for coincidence within certain bandwidth between initial and operating data using time correlation
- PR - DE19981059361 19981222
- PN - DE19941917 C2 20010927 DW200156 F23N5/16 000pp  
 - DE19941917 A1 20000629 DW200052 F23N5/16 015pp
- PA - (WOEH-N) WOEHLE MESGERAETE KEHRGERAETE GMBH
- IC - F23D14/60 ; F23N3/00 ; F23N5/16 ; G01H13/00
- IN - ESTER S; SCHRAMEYER A
- AB - DE19941917 NOVELTY - The method involves producing a time-frequency-noise amplitude graph containing. the ignition process, normal burner operation, addition of further burner stages if appropriate and/or continuous regulation for an optimally adjusted burner system. A frequency-noise amplitude graph is produced during normal operation from acoustic monitoring (5,6) signals. An evaluation unit (15) monitors for coincidence within a certain bandw

BLANK PAGE

idth between the initial and operating data using time correlation and indicates a fault if the bandwidth is exceeded.

- USE - For monitoring and regulating burner systems, especially. oil or gas-fired systems.
- ADVANTAGE - Enables relatively simple monitoring and if appropriate regulation of a system that is in regular operation.
- DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The drawing shows a schematic representation of a measurement arrangement for monitoring and regulating especially oil or gas-fired burner systems
- burner system 1
- microphones 5,6
- PC 15
- (Dwg.1/16)

OPD - 1998-12-22

AN - 2000-559295 [52]

BLANK PAGE



⑮ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 41 917 A 1**

⑤① Int. Cl.7:  
**F 23 N 5/16**  
F 23 N 3/00  
F 23 D 14/60  
G 01 H 13/00

②① Aktenzeichen: 199 41 917.5  
②② Anmeldetag: 17. 7. 1999  
②③ Offenlegungstag: 29. 6. 2000

DE 19941917 A1

⑤⑥ Innere Priorität:  
198 59 361. 9 22. 12. 1998

⑦① Anmelder:  
Wöhler Meßgeräte Kehrgeräte GmbH, 33181  
Wünnenberg, DE

⑦④ Vertreter:  
W. Eikel und Kollegen, 32760 Detmold

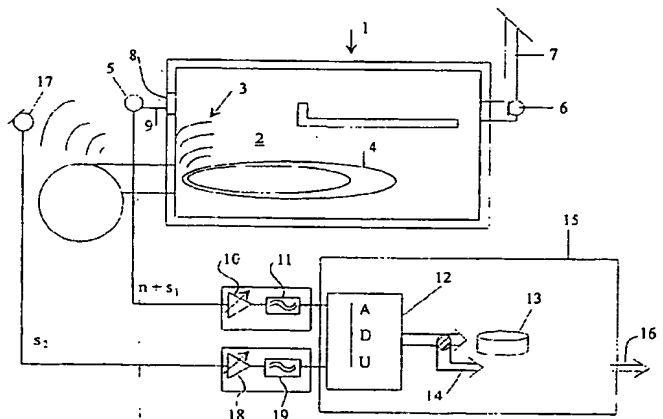
⑦② Erfinder:  
Ester, Stephan, Dr.-Ing., 34439 Willebadessen, DE;  
Schrammeyer, Albert, 81737 München, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zur Überwachung und Regelung von Feuerungsanlagen

⑤⑦ Ein Verfahren zur Überwachung von Feuerungsanlagen zeichnet sich dadurch aus, daß einmalig ein Zeit-Frequenz-Geräuschamplituden-Diagramm erstellt wird, welches insbesondere den Zündvorgang, den normalen Brennvorgang, gegebenenfalls das Hinzuschalten weiterer Brennerstufen und deren normale Brennvorgänge und/oder eine stufenlose Regelung an der optimal eingestellten Feuerungsanlage 1 erfaßt, daß der reguläre Betrieb der Feuerungsanlage 1 akustisch überwacht wird, daß während des Betriebes auf Basis der akustischen Überwachung ein Frequenz-Geräuschamplituden-Diagramm erstellt wird, und daß eine Auswerteeinheit mit zeitlicher Korrelation die auf dem Frequenz-Geräuschamplituden-Diagramm basierenden Daten mit den auf dem Zeit-Frequenz-Geräuschamplituden-Diagramm basierenden Daten auf Übereinstimmung innerhalb einer vorgebbaren Bandbreite überwacht und bei Überschreiten der Bandbreite einen Fehler anzeigt.



DE 19941917 A1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung und Regelung von Feuerungsanlagen, die insbesondere Öl- oder gasbefeuert sind.

Öl- und gasbefeuerte Feuerungsanlagen sollten regelmäßig gewartet werden, damit die Anlagen mit möglichst hohem Wirkungsgrad betrieben werden können. Pflege und Wartung, insbesondere auch zur optimalen Brenneinstellung, sind zumeist durch Zeitintervalle bestimmt, beispielsweise eine jährliche Wartung oder eine Wartung nach einer gewissen Anzahl von Betriebsstunden.

Zumeist durchgeführt werden in regelmäßigen Intervallen klassische Rauchgasanalysen sowie Messungen der Abgasverluste. Daneben erfolgt regelmäßig eine Grenzwertüberwachung nach der allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetz (1. BImSchV).

Eine kontinuierliche, regelmäßige Überwachung von Feuerungsanlagen erfolgt regelmäßig nicht. Insbesondere erfolgt keine regelmäßige Überwachung, ob die Anlagen mit einem optimalen Wirkungsgrad betrieben werden.

Vor diesem technischen Hintergrund macht die Erfindung es sich zur Aufgabe, ein Verfahren und Hilfsmittel zur Durchführung des Verfahrens zur Verfügung zu stellen, durch welche vergleichsweise einfach eine im regulären Betrieb befindliche Feuerungsanlage permanent überwacht und ggfls. nachgeregelt werden kann.

Zur Lösung dieser technischen Problematik wird gemäß Anspruch 1 bei einem Verfahren zur Überwachung von Feuerungsanlagen darauf abgestellt, daß einmalig ein Zeit-Frequenz-Geräuschamplituden-Diagramm erstellt wird, welches insbesondere den Zündvorgang, den normalen Brennvorgang, ggfls. das Hinzuschalten weiterer Brennstufen und deren normale Brennvorgänge und/oder eine stufenlose Regelung an der optimal eingestellten Feuerungsanlage erfaßt, daß der reguläre Betrieb der Feuerungsanlage akustisch überwacht wird, daß während des Betriebs auf Basis der akustischen Überwachung ein Frequenz-Geräuschamplituden-Diagramm erstellt wird, daß eine Auswerteeinheit mit zeitlicher Korrelation die auf dem Frequenz-Geräuschamplituden-Diagramm basierenden Daten mit den auf dem Zeit-Frequenz-Geräuschamplituden-Diagramm basierenden Daten auf Übereinstimmung innerhalb einer vorgebbaren Bandbreite überwacht und bei Überschreiten der Bandbreite einen Fehler anzeigt.

Es hat sich in Versuchen überraschenderweise gezeigt, daß stationäre Brennvorgänge von Feuerungsanlagen eine periodische, über die Zeit stabile Zeit-Frequenz-Geräuschamplituden-Abhängigkeit aufweisen. Daneben sind auch bei den instationären Vorgängen, beispielsweise bei dem Zünden der Anlage, dem Hinzuschalten von weiteren Brennstufen bzw. deren Abschalten oder auch bei einer stufenlosen Regelung der Feuerungsanlage ein regelmäßig wiederkehrendes Zeit-Frequenz-Geräuschamplituden-Verhalten zu beobachten. Ist ein solches Diagramm einmalig bei einer optimal eingestellten Anlage erstellt worden, sind akustische Abweichungen von diesem Diagramm auf Störungen regelmäßig zurückzuführen, da das gewonnene Diagramm signifikante Charakteristiken aufweist. Insofern wird hier ein Maß vorgegeben, von welchem sich der spätere, reguläre Betrieb der Feuerungsanlage nur innerhalb der vorgebbaren Bandbreite bewegen darf. Andernfalls ist ein Fehler in der Feuerungsanlage aufgetreten oder stimmen Grundeinstellungen der Anlage nicht mehr, so daß eine Wartung beispielsweise nötig ist.

Der reguläre Betrieb der Feuerungsanlage wird akustisch überwacht, und dies permanent. Für die Aufnahme akusti-

scher Schwingungen sind Mikrofone in einer Vielzahl von Ausführungsformen bekannt und auch geeignet.

Mit Hilfe solcher Mikrofone zur akustischen Überwachung des regulären Betriebes der Feuerungsanlage wird ein Frequenz-Geräuschamplituden-Diagramm erstellt.

Im Vergleich mit dem Referenzdiagramm, dem erstellten Zeit-Frequenz-Geräuschamplituden-Diagramm der optimal eingestellten Feuerungsanlage, zeigt sich, ob der reguläre Betrieb der Feuerungsanlage in einem optimalen Bereich erfolgt. Hierzu ist jedoch eine zeitliche Korrelation nötig, die sich häufig einfach daraus ergibt, daß bei ausgeschalteter Feuerungsanlage gerade keine Geräusche auftreten, ein Zündvorgang ein typisches Geräuschspektrum aufweist, an welchem sich ein derartiger Vergleich orientieren kann und daß, wie bereits erwähnt, der normale Brennvorgang ein periodisches Frequenzspektrum aufweist. Insofern kann eine zeitliche Zuordnung der beiden Diagramme vergleichsweise einfach erfolgen.

In an sich bekannter Art kann eine geringe Abweichung der momentanen Werte von den Werten des Referenzdiagramms zugelassen werden und erst nach Überschreiten einer vorgebbaren Bandbreite wird ein Fehler angezeigt.

In vorteilhafter Weise kann für das Erstellen der Diagramme die selbe Mikrofonanlage verwendet werden. Ein besonderer Meßaufbau für das Erstellen des Zeit-Frequenz-Geräuschamplituden-Diagramms ist nicht nötig. Darüber hinaus wird durch diese Maßnahme eine große Individualisierung des Überwachungsvorganges erreicht, in dem Referenzdiagramme speziell für eine jede Feuerungsanlage erstellt werden.

Andererseits kann bei Serienfertigung von Feuerungsanlagen auch ein solches Zeit-Frequenz-Geräuschamplituden-Diagramm nur einmal erstellt werden und als Referenzdiagramm für eine Vielzahl von gleichartigen Feuerungsanlagen dienen.

Als zweckmäßig hat sich erwiesen, daß die Mikrofonanlage wenigstens ein Mikrofon für eine Nutzschallmessung aufweist für das Erfassen des Luftschalls im Brennraum der Feuerungsanlage. Insbesondere kann das Mikrofon auch innerhalb des Brennerraumes angeordnet sein. Solches reicht in akustisch ungestörter Umgebung regelmäßig. Da jedoch Feuerungsanlagen häufig in akustisch gestörter Umgebung befindlich sind, wird dann bevorzugt eine aktive Störgeräuschbedämpfung vorgesehen, welche grundsätzlich bekannt ist z. B. aus Technisches Messen: Sensoren, Geräte, Systeme, tm 3/95, S. 107-112.

Es wird weiter bevorzugt, daß für die aktive Störgeräuschbedämpfung ein zweites Mikrofon als Störschallreferenzmikrofon vorgesehen ist. Weiter hat sich als zweckmäßig erwiesen, als Schallsensor einen solchen nach Art eines Stethoskopes zu verwenden. Hierzu ist vorgesehen, daß insbesondere das Nutzschallmikrofon einerseits in einer Leitung, einem Schlauch oder dergleichen angeordnet ist, wodurch ein einseitig offener Resonator ausgebildet wird.

Weiter ist bevorzugt die Leitung mit ihrem freien Ende mit der Feuerungsanlage verbunden und ist die Länge auf den akustisch interessierenden Bereich resonanzmäßig eingestellt. Insbesondere ist der akustisch interessierende Bereich kleiner als 5000 Hz. Die Materialwahl für die Leitung und sein Durchmesser sind weitestgehend unkritisch. So hat sich ein temperaturfester Schlauch, beispielsweise ein PU-Schlauch, in der Praxis bewährt, in welchem eine Mikrofonskapsel eindrückbar ist. Mit ihrem freien Ende kann die Leitung an einen Meßanschlußstutzen für den Feuerungsdruck oder an einem Schauglas für die optische Brennerüberwachung angeschlossen sein, zwei Überwachungs- bzw. Einstellungseinrichtungen, die ohnehin bei jeder Feuerungsanlage vorhanden sind. Da weitere Eingriffe in die Anlage

nicht nötig sind, eignet sich das erfindungsgemäße Verfahren insbesondere auch für eine Nachrüstung bereits vorhandener Anlagen.

Da durch den Anschluß der Leitung an die Feuerungsanlage ggfls. aggressive Brenngase auch in die Leitung eintreten können, ist weiter zweckmäßigerweise vorgesehen, daß das Nutzschnallmikrofon durch eine Folie leitungsinnenseitig geschützt ist. Das von dem Nutzschnallmikrofon abgehende analoge Mikrofonsignal wird einem Vorverstärker zugeführt und weiter das verstärkte Signal über einen Bandpaßfilter einem Analog/Digital-Umsetzer. Um nun die Bitbreite des A/D-Umsetzers optimal zu nutzen, sorgt eine Steuereinheit für eine unterschiedliche Verstärkung des Signals, so daß die vergleichsweise geringen Geräusche bei der normalen Verbrennung gegenüber einem Zündvorgang auch sehr genau dargestellt werden können. Gleichfalls wird, wenn vorgesehen, das analoge Mikrofonsignal des Störschnallreferenzmikrofons einem Vorverstärker zugeführt und das verstärkte Signal über einen Bandpaßfilter weiter einem Analog/Digital-Umsetzer zugeführt. Auch hier sorgt eine Steuereinheit dafür, daß die Verstärkung der Signale derart erfolgt, daß eine optimale Nutzung der Bitbreite des A/D-Umsetzers möglich ist.

Dieses digitalisierte Signal wird weiter einem adaptiven transversalen Digitalfilter ATDF zugeführt. Ein derartiges Filtersystem ist in der zitierten Literaturstelle beispielsweise auch beschrieben. Das Ausgangssignal des ATDF wird mit dem Ausgangssignal des A/D-Umsetzers für das Nutzschnallmikrofon verknüpft und es steht dann ein Schätzwert für das ungestörte, bearbeitete Nutzsignal zur Verfügung.

Zwar sind heutige Computer sehr leistungsfähig, jedoch ist ein typisches Problem der Datenverarbeitung das Auftreten großer Datenmengen in kurzer Zeit. Es wird deshalb bevorzugt, daß ein Frequenzbereich in Intervalle aufgeteilt wird, daß kennzeichnende Merkmale der Intervalle berechnet werden, daß Merkmalvektoren erstellt werden und daß als Daten die Elemente des Merkmalvektors der optimal eingestellten Feuerungsanlage als Referenzelemente und die Elemente des Merkmalvektors der im regulären Betrieb befindlichen Feuerungsanlage verglichen werden. Hierbei basieren die Elemente des Merkmalvektors insbesondere auf Kurzzeitspektren. Die für die Berechnung nötigen Algorithmen sind heute recht schnell und es besteht gar die Möglichkeit, durch geeignete Hardware solche Algorithmen für eine Frequenzspektrenberechnung, beispielsweise Fast-Fourier-Transformationen FFT, zu implementieren.

Bei einer Art der Überwachung und Auswertung der Meßergebnisse ist durch Versuchsmessungen belegt, daß Frequenzen über 1000 Hz kaum mehr charakteristische, aussagekräftige Daten liefern, die geeignet sind, Vorgänge beim Zündvorgang, dem normalen Brennvorgang oder auch andere, im stationären Betrieb einer Feuerungsanlage auftretende Ereignisse zu beschreiben. Es wird deshalb weiter bei dieser Art der Überwachung und Auswertung bevorzugt, daß der in Intervalle aufgeteilte Frequenzbereich von 0 bis 1000 Hz reicht, insbesondere jedoch bei einer bevorzugten Variante des Verfahrens der Erfindung bis 1500 Hz. Dieser Bereich kann in unterschiedlich große Intervalle eingeteilt sein, um gewisse Bereiche intensiv abzudecken, jedoch kann der Frequenzbereich insbesondere bis 1000 Hz auch in gleich große Intervalle aufgeteilt sein, insbesondere in 20 Intervalle jeweils einer Bandbreite von 50 Hz. Hierdurch wird ein ausgewogenes Optimum einerseits zwischen Aufwand an Rechenleistung und andererseits an Genauigkeit erreicht.

So ist beispielsweise für eine qualitative Beurteilung zur Überwachung des Zündvorgangs ein Frequenzbereich von 0 bis 200 Hz ausreichend und wird hierzu auch genutzt. Hier-

bei wird bevorzugt, daß die den Frequenzbereich von 0 bis 200 Hz abdeckende Elemente des Merkmalvektors, insbesondere hier die Elemente mit dem Zählindex  $i = 0, 1, 2, 3$  der Frequenzintervalle 0 bis 50 Hz, 50 bis 100 Hz, 100 bis 150 Hz und 150 bis 200 Hz, mit den gleichen Bereiche abdeckenden Referenzelementen der optimal eingestellten Feuerungsanlage verglichen werden. Insbesondere muß die Überprüfung von Zündvorgängen sehr rasch und sehr exakt erfolgen, da aus sicherheitstechnischen Gründen eine Feuerungsanlage bei einer Nichtzündung nach vorgegebenen Zeiten, abhängig von der Art der Feuerungsanlage, durch eine Sicherheitsvorrichtung abzuschalten ist, welche lediglich manuell gelöst werden kann. Dieser schnelle Vergleich wird durch die geringe Anzahl an zu vergleichenden Elementen sichergestellt.

Zur Überwachung des normalen Brennvorgangs kann bei dieser Art der Überwachung und Auswertung der Meßergebnisse ein Bereich von 350 bis 1500 Hz, insbesondere von 400 Hz bis 1000 Hz auf Basis heuristischer Erfahrungen genutzt werden.

Dabei wird weiter bevorzugt, daß zur Überwachung des normalen Brennvorgangs die den Frequenzbereich von 350 Hz bis 1500 Hz, gegebenenfalls den Bereich von 350 Hz oder 400 Hz bis 1000 Hz, abdeckende Elemente des Merkmalvektors, insbesondere hier beispielhaft die Elemente  $i = 6, \dots, 19$  mit den gleichen Bereiche abdeckenden Referenzelementen der optimal eingestellten Feuerungsanlage verglichen werden. Überraschenderweise hat sich herausgestellt, daß Abweichungen in diesem Frequenzbereich zwischen der im regulären Betrieb befindlichen Anlage und den Referenzdaten auch Aussagen darüber zulassen, welche Fehler vorliegen. Für diese Art der Auswertung wird weiter bevorzugt, daß eine Referenzschwerpunktfrequenz der optimal eingestellten Feuerungsanlage für einen Frequenzbereich berechnet wird, daß eine Schwerpunktfrequenz der im regulären Betrieb befindlichen Feuerungsanlage für den gleichen Frequenzbereich berechnet wird und daß nach einem Überschreiten der aktuellen Schwerpunktfrequenz einer vorgebbaren Bandbreite um die Referenzschwerpunktfrequenz die Auswertevorrichtung einen Fehler anzeigt.

Hierbei steht häufig eine Frequenzerhöhung der Schwerpunktfrequenz für einen Luftmangel und eine Frequenzerniedrigung für einen Luftüberschuß, jeweils verglichen mit der Referenzschwerpunktfrequenz.

Neben den heuristischen Erfahrungen, bei welchen im wesentlichen im spektralen Bereich eine Amplitudenauswertung erfolgt und eine Auswertung der Abhängigkeit maximaler Amplituden/Amplitudenbereiche von der Frequenz, wird naturgemäß ein Verfahren für die Überwachung und Auswertung vorliegender Meßergebnisse bevorzugt, welches auf exakten Daten beruht.

Hierzu werden zweckmäßigerweise als kennzeichnende Merkmale psychoakustische Kenngrößen verwendet. Hierbei handelt es sich bei den in Rede stehenden erfindungsgemäßen Verfahren insbesondere um die Berechnungen von Schwerpunkten und/oder Schärfe, von Rauigkeiten, von Leistungsmittelwerten und Standardabweichungen.

Es können diese berechneten psychoakustischen Kenngrößen für sich als Merkmal stehen oder, wie ggfls. auch andere kennzeichnende Merkmale mit anderen, bereits berechneten Merkmalen, verknüpft werden.

Für diese Art der Auswertung wird weiter bevorzugt, daß eine Referenzschärfe der optimal eingestellten Feuerungsanlage für einen Frequenzbereich berechnet wird, daß eine Schärfe der im regulären Betrieb befindlichen Feuerungsanlage für den gleichen Frequenzbereich berechnet wird und daß nach einem Überschreiten der aktuellen Schärfe einer vorgebbaren Bandbreite um die Referenzschärfe die Aus-

wertevorrichtung einen Fehler anzeigt.

Hierzu sind mehrere, an sich bekannte mathematische Verfahren möglich, welche auch eine Wichtung der einzelnen Frequenzabschnitte bzw. Frequenzintervalle erlauben. Insbesondere kann auch intervallweise eine Schwerpunktfrequenz oder Schärfe oder eine andere psychoakustische Kenngröße jeweils berechnet werden und ergibt sich beispielsweise bei einem betrachteten Frequenzbereich von ca. 0–1500 Hz bei einer spektralen Auswertung ein etwa glockenförmiger Kurvenabschnitt oberhalb der Frequenzachse zwischen etwa 600 Hz und 1100 Hz. Wird dessen Maximum, d. h. die Schwerpunktfrequenz, nach links verschoben, in Richtung niedrigerer Frequenzen, steht dies signifikant für einen Luftüberschuß und wird das Maximum nach rechts verschoben, steht dies häufig für einen Luftmangel.

Der Vergleich einer berechneten, aktuellen Rauigkeit mit einem Referenzwert der Rauigkeit erlaubt den Schluß, daß bei einer Erniedrigung des aktuellen Wertes der Rauigkeit ein Luftüberschuß vorliegt.

Die Rauigkeit wird bevorzugt gebildet durch einen Quotienten einer Standardabweichung und eines Leistungsmittelwertes, insbesondere über einen Frequenzbereich von 500–1500 Hz.

Es hat sich weiter als zweckmäßig erwiesen, Leistungsmittelwerte für zwei getrennte Frequenzbereiche zu berechnen und auszuwerten, wobei ein erstes Intervall von 0–500 Hz insbesondere die Auswertung des Zündverhaltens auch zuläßt und die Betrachtung des Leistungsmittelwertes in einem Intervall von 500–1500 Hz insbesondere der Berechnung der Rauigkeit dienen kann.

Wird so für ein niederfrequentes Intervall ein Leistungsmittelwert berechnet und für einen anschließenden höherfrequenten Bereich ein weiterer Leistungsmittelwert berechnet, kann durch eine Quotientenbildung der beiden Leistungsmittelwerte die Auswertevorrichtung insbesondere einen Luftmangel detektieren, im Vergleich mit einem Referenzwert des Quotienten.

Neben einer signifikanten Fehlerbeschreibung geben Änderungen insbesondere der psychoakustischen Kennwerte häufig ein Indiz für eine bestimmte Fehlerquelle. Die Zusammenfassung mehrerer solcher typischer Veränderungen kann dann wiederum signifikant für eine Fehlerquelle stehen. So ist erfindungsgemäß daran gedacht, daß bei einer Erniedrigung des Wertes der Rauigkeit – für sich allein nicht signifikant – und einem Anstieg der Schärfe – für sich allein betrachtet gleichfalls nicht signifikant – die Auswertevorrichtung eine Verschmutzung detektiert, wenn die aktuellen Werte mit einem Referenzwert der Rauigkeit bzw. der Schärfe verglichen werden.

In der im Anhang wiedergegebenen Tabelle II sind die Auswertungsmöglichkeiten nochmals graphisch und zusammengefaßt dargestellt.

Als statistische Kennwerte sind dort ein mittlerer Leistungswert  $g$  für einen Bereich von 500–1500 Hz, eine spektrale Rauigkeit  $R = \sigma/g$  für einen Bereich von 500–1500 Hz, ein Schwerpunkt bzw. eine Schärfe  $F_s$  für einen Bereich von 500–1500 Hz und ein Leistungsmittelwert  $g_1$  für einen Bereich von 0–500 Hz angegeben.

Die Pfeilrichtung steht für eine Erhöhung bzw. für eine Erniedrigung der ausgewählten Kennwerte. Der Doppelpfeil ist signifikant, die Tilde läßt regelmäßig allein keine Aussage über eine mögliche Fehlerquelle Luftüberschuß LU, Luftmangel LM oder eine Verschmutzung der Anlage zu.

Aus der Tabelle II ist ohne weiteres abzulesen, daß einer Erniedrigung des Wertes für  $R$  oder  $F_s$  mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Luftüberschuß LÜ vorliegt.

Signifikant ist auch bei einem Luftmangel der Anstieg des Quotienten der Leistungsmittelwerte  $g_1/g$ . Dies mag daraus

resultieren, daß bei einem Luftmangel die Flamme länger wird, was sich in einem niederfrequenten Klangeindruck niederschlagen kann.

Ein Absinken der Rauigkeit  $R$  kann auch auf eine Verschmutzung hindeuten, welche einem Luftmangel vergleichbar ist. Die sinkende Rauigkeit  $R$  ergibt sich dann durch eine dämpfend wirkende Schmutzschicht.

Entsprechend kann weiter vorgesehen werden, daß von der Auswerteeinheit in Abhängigkeit einer Abweichung eines oder mehrerer kennzeichnender Merkmale von Referenzmerkmalen gesteuert eine Verbrennungsluft-Brennstoffeinspeisung die Brenneinstellung nachregelt. So wird die Feuerungsanlage optimal betrieben. Ist eine derartige Nachregelung nicht möglich, so heißt dies, daß eine Wartung oder manuelle Neueinstellung der Anlage vorzunehmen ist.

Es bietet sich nach diesem Verfahren auch an, die Überwachung in Verbindung mit einem Betriebsstundenzähler vorzunehmen. Die Anzahl der Betriebsstunden in Verbindung mit der Abweichung der aktuellen Meßwerte von dem Referenzwerten kann dann als Maß für eine Wartung auch angesehen werden. Ähnliches kann in Verbindung mit einem schleichenden Anstieg der Abgastemperatur erfolgen, wenn deren Überwachung durch ein Thermometer beispielsweise vorgesehen ist. Auch hierdurch wird die Festlegung eines Wartungsintervalls nicht lediglich in vorgebbaren Zeitabschnitten oder dergleichen, sondern tatsächlich in Abhängigkeit der Belastung der Anlage vorgeschlagen. Weiter bietet sich an, in Verbindung mit an sich bekannten Techniken das Verfahren nach der Erfindung für das komplette Energiemanagement, z. B. in Verbindung mit Außentemperaturfühlern oder dergleichen, auszubauen.

Hierzu erfolgen zweckmäßigerweise die Datenübertragungen über entsprechend ausgebildete interne/externe Datennetze, so daß auch eine Fernüberwachung der Feuerungsanlage ermöglicht ist.

Die Erfindung wird anhand der Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigt:

Fig. 1 schematisiert eine Meßanordnung für die akustische Überwachung nach der Erfindung von Feuerungsanlagen,

Fig. 2 die Anordnung einer Mikrofonkapsel in einer Leitung mit abgestimmter akustischer Länge,

Fig. 3 schematisiert die Steuerung der Verstärkung  $V$  des Vorverstärkers für analoge Mikrofonsignale,

Fig. 4 schematisiert den Aufbau der adaptiven transversalen Digitalfilter-Störgeräuschbedämpfung,

Fig. 5 die Umsetzung des geschätzten ungestörten Nutzsymbols in einen Merkmalvektor,

Fig. 6 eine beispielhafte Zuordnung spektraler Kennwerte und Frequenzintervalle,

Fig. 7 schematisiert das Erstellen von Referenzwerten der ungestörten Feuerungsanlage,

Fig. 8 schematisiert die Aufarbeitung der Mikrofonsignale zur Überwachung des Zündvorganges eines ersten Auswerteverfahrens,

Fig. 9 die Überwachung des Zündvorganges bzw. einer Flamme,

Fig. 10 ein Zustandsdiagramm, aus welchem die Qualität der Verbrennung entnommen werden kann,

Fig. 11 ein Frequenzspektrum bei der Verbrennung von Heizöl,

Fig. 12 eine Schallaufnahme der Verbrennungsvorgänge gemäß Fig. 11 über ein Zeitintervall von 0 bis etwa 3000 Abtastwerte,

Fig. 13 ein Frequenzspektrum bei der Verbrennung von Gas,

Fig. 14 eine Vergrößerung aus Fig. 13 im Bereich von



600–1100 Hz,

Fig. 15 eine Darstellung der spektralen Leistungsdichte, aufgetragen über der Frequenz und dient

Fig. 16 der Erläuterung eines bevorzugten Überwachungsverfahrens nach der Erfindung.

Weiter sind im Zeichnungsanhang zwei Tabellen dargestellt, in denen

Tabelle I verschiedene Meßprotokolle wiedergibt und Tabelle II der Erläuterung der Zusammenhänge einer typischen Merkmalsänderung mit ursächlichen Fehler dient.

Fig. 1 zeigt stark schematisiert einen Aufbau zur Durchführung der akustischen Überwachung gemäß der erfindungsgemäßen Verfahren. Eine Feuerungsanlage 1 weist im Brennraum 2 eine Vielzahl von Geräuschen auf, die von Flammen 4, Lüftern, Zündungen oder dergleichen herrühren. Deren Geräusche, angedeutet durch Schallwellen 3, liefern ein von Mikrofonen 5, 6 aufgenommenes, analoges Nutzsignal  $n$ , regelmäßig von einem Störsignal  $s_1$  überlagert.

Ein solches Nutzschaall-Mikrofon 6 kann beispielsweise im Abgaskanal 7 der Feuerungsanlage 1 angeordnet sein. Es hat sich jedoch in der Praxis gezeigt, daß diese Anordnung wenig zweckmäßig ist, da das Signal weniger charakteristische Kennwerte enthält.

Alternativ, in der Zeichnung jedoch nicht dargestellt, kann ein Nutzschaall-Mikrofon auch innerhalb der Feuerungsanlage 1 und insbesondere innerhalb des Brennraumes 2 unmittelbar angeordnet sein.

Es wird für die Aufnahme des Nutzschaallsignals eine Mikrofonanordnung bevorzugt, vergleiche Fig. 2, bei welcher ein Mikrofon, hier eine Mikrofonkapsel 5 in einer Leitung 9, insbesondere in einem PU-Schlauch, insbesondere akustisch abgestimmter Länge, an einen Druckmeßstutzen oder an ein Schauglas 8 der Feuerungsanlage 1 angeschlossen wird. Das analoge Mikrofonsignal der Mikrofonkapsel 5, hier das Nutzsignal  $n$ , regelmäßig von einem Störsignal  $s_1$  überlagert, wird einem Vorverstärker 10 zugeführt, und es gelangt das verstärkte Signal über einen Bandpaßfilter 11 an einen Analog/Digital-Umsetzer 12.

Es kann zweckmäßig sein, je nach auszuwertendem Frequenzbereich, daß der Bandpaßfilter 11 eine obere Grenzfrequenz von 2,5 kHz aufweist. Der Analog/Digital-Umsetzer 12 weist eine Abtastfrequenz von ca. 5 kHz auf, wobei höhere Abtastfrequenzen zwar genauere Ergebnisse liefern, jedoch auch eine erheblich größere Datenmenge. Bei einer Abtastfrequenz von 5 kHz, ergeben sich 300.000 Abtastwerte pro Kanal und Minute, welche beispielsweise auf einer Festplatte 13 für die spätere Auswertung gespeichert werden können. Alternativ, angedeutet durch den Pfeil 14 in Fig. 1, kann eine Online-Analyse zugleich oder alternativ durchgeführt werden.

Zweckmäßigerweise sind dazu entsprechende Analog/Digital-Umsetzer 12 in einem Computer, auch in einem Personalcomputer 15 angeordnet. Für den Computer 15 selbst oder eine Fernüberwachung stehen dann digitalisierte und gegebenenfalls geeignet normierte Abtastwerte gemäß Pfeil 16 zur Verfügung, vgl. auch Fig. 12.

Regelmäßig wird von der Mikrofonkapsel 5 nicht allein das reine Nutzsignal  $n$  erfaßt, sondern sind Störungen überlagert, so daß ein Signal  $n + s_1$  tatsächlich zur Verfügung gestellt wird.

Bevorzugt wird deshalb regelmäßig eine aktive Störgeräuschbedämpfung. Hierzu ist ein zweites Mikrofon 17 als Störschallreferenzmikrofon vorgesehen. Auch das analoge Mikrofonsignal  $s_2$  des Störschallreferenzmikrofons 17 wird einem Vorverstärker 18 zugeführt und gelangt über einen Bandpaßfilter 19 an einen A/D-Wandler 12, ggfls. an einen gesondert ausgebildeten.

Auch für die Bandpaßfilter 19 hat sich eine obere Grenzfrequenz von 2,5 kHz als sehr zweckmäßig erwiesen, da die hohen Frequenzen bei bestimmten Auswerteverfahren nach der Erfindung kaum signifikante Daten hinsichtlich des normalen Betriebes einer Feuerungsanlage 1 liefern.

Fig. 2 zeigt beispielhaft die Anordnung insbesondere der Mikrofonkapsel 5 in einem Schlauch 9 als Leitung zur Aufnahme des gestörten Nutzschaallsignals  $n + s_1$ . Die Abstimmung der Schlauchlänge, um einen einseitig offenen Resonator auszubilden, ergibt sich bei einer interessierenden Frequenz von  $750 \text{ Hz} \pm 250 \text{ Hz}$  aus

$$L = \frac{332 (2\mu + 1)}{750 \cdot 4} \text{ m}$$

mit  $\mu = 0, 1, 2, \dots$

Da bei einer Länge  $L_{\mu=0} = 0,111 \text{ m}$  die Resonanz am wenigstens ausgeprägt ist, wird diese Schlauchlänge gegenüber einer Schlauchlänge von  $L_{\mu=1} = 0,332 \text{ m}$  und den übrigen Längen bevorzugt.

Der Schlauch 9 kann mit seinem freien Ende 20, wie bereits erläutert, an ein Schauglas, einen Druckmeßstutzen 8 oder dergleichen der Feuerungsanlage 1 angesetzt werden.

Innerhalb des Schlauches 9 wird die Mikrofonkapsel 5 ggfls. durch eine übergezogene Folie 21 vor aggressiven Rauchgasen und dergleichen geschützt.

Anstelle des Schlauches 9 kann auch durch die Verwendung eines starren Rohres beispielsweise aus einem Kunststoff oder einem Metall ein einseitig offener Resonator ausgebildet werden.

Die Geräuschpegel von Feuerungsanlagen schwanken in Abhängigkeit von der Frequenz erheblich, vergleiche hierzu auch die Fig. 11 und 13, insbesondere ist der Unterschied zwischen der Zündung und dem normalen Brennbetrieb doch deutlich. Es hat sich deshalb als zweckmäßig erwiesen, um die gesamte Bitbreite und damit die Darstellungsmöglichkeit der Werte durch die A/D-Umsetzer 12 optimal auszunutzen, den Verstärkungsfaktor  $V$  der Vorverstärker 10, 18 entsprechend dem Signalpegel anzupassen.

Dies wird anhand der Fig. 3 und dem dort dargestellten Signalweg des gestörten Nutzschaallsignals  $n + s_1$  weiter erläutert. Es liefert die Mikrofonkapsel 5 das gestörte Nutzsignal  $n + s_1$ , welches dem Vorverstärker 10, beispielsweise in bekannter Art als Differenzverstärker geschaltet, zugeführt wird. Von da gelangt das verstärkte Signal über den Bandpaßfilter 11 an den Analog/Digital-Umsetzer 12. Eine Steuereinheit 26 regelt in sich bekannter Art den Verstärkungsfaktor  $V$  des Vorverstärkers 10, angedeutet durch unterschiedliche Widerstände 22, um die optimale Ausnutzung der Bitbreite des A/D-Umsetzers 12 zu nutzen.

Zweckmäßigerweise sind der A/D-Umsetzer 12 und die Steuereinheit 26 kartenmäßig innerhalb eines Computers 15 integriert. Ggfls. können dort auch der Vorverstärker 10 und der Bandpaßfilter 11 integriert sein, beispielsweise auch in Form von sogenannten Soundkarten.

Anhand der Fig. 4 wird die Störgeräuschbedämpfung näher erläutert. Die innerhalb der Feuerungsanlage 1 befindliche Schallquelle 20 liefert über die Mikrofonkapsel 5 ein Nutz- und Störsignal  $n + s_1$ . Dieses wird, wie bereits erläutert, im Vorverstärker 10 geregelt vorverstärkt und über den Tiefpaß 11 einem A/D-Umsetzer 12 zugeführt.

Die außenliegende, störende Schallquelle 23 wird von dem Störschallreferenzmikrofon 17 aufgenommen, dessen analoges Signal  $s_2$  gleichfalls wieder über einen Vorverstärker 18 und einen Bandpaßfilter 19 weitergeleitet wird.

Auch die Verstärkung  $V$  des Vorverstärkers 18 wird durch eine Steuereinheit 27, weiter im Detail nicht dargestellt, geregelt. Über einen A/D-Umsetzer 24 gelangt das bearbeitete

Störungssignal  $s_2$  an einen adaptiven transversalen Digitalfilter, ATDF, 25 mit dem Ausgangssignal  $s_2^*$ . Regelmäßig entspricht dieser Wert  $s_2^*$  jedoch nicht dem Wert  $s_1^*$ , dem weiterverarbeiteten Störsignal, so daß durch Differenzbildung der beiden Signale  $(n^* + s_1^*)$  und  $s_2^*$  tatsächlich der exakte Wert des bearbeiteten Nutzsignals  $n^*$  nicht erhaltbar ist. Es ist deshalb zweckmäßig, die Filterkoeffizienten des ATDF 25 zu veränderbar zu gestalten. Es sind diese Filterkoeffizienten anhand eines Abgleichkriteriums so zu bestimmen, daß die Filterausgangsfolge  $s_2^*$  einer optimalen Nachbildung der tatsächlichen Störkomponente  $s_1$  im Summensignal  $(n^* + s_1^*)$  entspricht. Hierzu kann die Fehlersignalfolge am Systemausgang betrachtet werden und der quadratische Effektivwert der Fehlersignalfolge  $E$  wird minimiert  $\min [E(\bar{n})^2]$ , vgl. Pfeil 28 in Fig. 4. Damit steht  $\bar{n}$  als Schätzung des ungestörten Nutzsignals  $n$  vergleichsweise exakt zur Verfügung.

Da  $\bar{n}$  eine Vielzahl von Werten insbesondere eines Frequenzbereichs von 0 bis 1500 Hz, gegebenenfalls bis 1500 Hz charakterisiert, ist es bei einem ersten Überwachungsverfahren nach der Erfindung zweckmäßig, den Bereich von 1000 Hz zu unterteilen, beispielsweise in 20 hier gleichgroße Intervalle von 50 Hz. Es kann dann für jedes Intervall aus der Vielzahl der Werte  $\bar{n}$  ein Merkmal berechnet werden, insbesondere spektrale Kennwerte. Es steht dann ein Vektor  $m$  als Merkmalvektor zur Verfügung, vergleiche Fig. 5, dessen Elemente mit einem Zählindex  $i = 0 \dots 19$  insbesondere auch Kurzzeitspektren sind. Die Zuordnung des Vektors  $m$  mit seinen verschiedenen Werten hinsichtlich der Frequenzintervalle ist in Fig. 6 nochmals gezeigt.

Natürlich können andere Intervalle, gleich lang oder unterschiedlich, auch überlappend, gewählt werden. Es ist damit auch möglich, eine Wichtung spezieller Frequenzbereiche vorzunehmen.

Insbesondere für eine qualitative Überwachung des Zündvorgangs kann ein Frequenzbereich zwischen 0 und 200 Hz herangezogen werden, vergleiche auch die Fig. 11 und 13. In diesem Bereich kann sicher erkannt werden, ob die Zündung erfolgt ist. Im spektralen Bereich wird dieser Frequenzbereich durch die Elemente  $m_0$  bis  $m_3$  hier beispielhaft gemäß Fig. 8 charakterisiert. Die dort gebildete Summe  $Z$  wird mit  $Z_{ref}$  verglichen, durch welche der Betrieb bei optimal eingestellter Anlage charakterisiert ist. Ein solcher Vergleich kann beispielsweise in einer Normierung bestehen, beispielsweise in einer Quotientenbildung. Damit läßt sich aus Fig. 9 sofort ablesen, ob ein Zündvorgang stattgefunden hat, ein nicht erkennbarer Zustand vorliegt oder ob kein Zündvorgang stattgefunden hat. Hierbei ist ein Wert  $\alpha$  geeignet zu wählen, welcher beispielsweise 20% betragen kann und durch den eine Bandbreite definiert wird. In einem Bereich oberhalb  $1-\alpha$ , unschraffiert, ist die Flamme dann sicher eingeschaltet, in dem Bereich kleiner als  $\alpha$ , gleichfalls unschraffiert, aus. Der schraffierte Bereich dazwischen ist unbestimmt.

Im Bereich insbesondere von 600 Hz bis 1100 Hz, hier beispielhaft in einem Intervall von 350 Hz bis 1000 Hz, kann bei diesem Verfahren nach der Erfindung der normale Brennvorgang der Feuerungsanlage 1 überwacht werden. Über einen solchen Bereich hat es sich als zweckmäßig erwiesen, Schwerpunktfrequenzen  $f_s$  bzw. Schiefen  $\gamma$  aufzutragen, wobei eine Schwerpunktfrequenz  $f_s$  definiert wird

$$f_s = \frac{\sum_{i=6}^{19} f_{si} t_i}{\sum_{i=6}^{19} t_i} \quad n$$

mit:

$$f_{si} = \frac{1}{2} \{i + (i + 1)\} \Delta f, \text{ für } i = 0, 1, \dots,$$

$$t_i = \Delta f m_i,$$

$$\Delta f = \frac{1000 \text{ Hz}}{20 \text{ Intervalle}}$$

wobei sich hier zweckmäßigerweise für die Zählfolge die Intervalleinteilung anbietet.

Überraschenderweise hat sich in diesem Frequenzbereich gezeigt, daß ein Luftüberschuß bei einer Verschiebung der Schwerpunktfrequenz zu kleineren Frequenzen, ein Luftmangel bei einer Verschiebung zu höheren Frequenzen gegenüber der Referenzschwerpunktfrequenz bei normaler, korrekter Verbrennung vorliegt, vergleiche auch Fig. 14.

Durch entsprechenden Vergleich ist damit die Möglichkeit gegeben, durch eine Regelung den Verbrennungsvorgang zu optimieren und falls dies nicht möglich ist, den Bedarf einer Wartung zu signalisieren.

Wird dann weiter für dieses Frequenzintervall ein normierter Kennwert  $Z/Z_{ref}$  gebildet, gemäß Fig. 8, und über dem Frequenzverhältnis  $f_s/f_{sRef}$  aufgetragen, vgl. Fig. 10, kann der Betriebszustand der Feuerungsanlage jederzeit abgelesen werden.

In Fig. 10 steht der unschraffierte Bereich für eine Feuerungsanlage 1, bei welcher eine korrekte Verbrennung stattfindet. Darüberliegende Werte, durch den nach oben gerichteten Doppelpfeil charakterisiert, signalisieren eine instationäre Verbrennung. Im schraffierten Bereich links liegende Werte, angedeutet durch den nach links gerichteten Doppelpfeil, deuten regelmäßig auf eine Störung mit Luftüberschuß hin, während der nach rechts gerichtete Pfeil, bzw. die rechts der unschraffierten Fläche liegenden Werte eine Störung durch Luftmangel regelmäßig anzeigen. Im Bereich des nach unten gerichteten Pfeils ist die Flamme regelmäßig erloschen.

Fig. 11 zeigt spektrale Kennwerte, aufgetragen über der Frequenz einer Feuerungsanlage 1 für Heizöl. Die Nummerierung der Kurven 9–11 in Fig. 11 korrespondiert mit den laufenden Nummern der Versuche aus der Tabelle I im Anhang. Unabhängig von einem Luftüberschuß, gemäß lf. 10 und 11, oder einer exakten Verbrennung, gemäß lf. 9, im optimierten Zustand zeigt der Frequenzbereich zwischen 0 und 200 Hz den Zündvorgang. Hier sind charakteristische Abweichungen nicht erkennbar. Wohl kann aber der Zündvorgang selbst, wie bereits erläutert, in diesem Frequenzbereich sicher aufgrund der großen Amplitude erkannt werden.

Für den normalen Betrieb der Anlage wichtige, diesen Betrieb charakterisierende Frequenzbereich liegt etwa zwischen 350 Hz bis 400 Hz als untere Eckfrequenzen und 1500 Hz. Deutlich ausgeprägt ist ein relatives Maximum in einem Bereich von etwa 900 Hz der Kurve lf. 9, welche die normale, korrekte Verbrennung charakterisiert. Ein Luftüberschuß in diesem höherfrequenten Bereich wird erkennbar an einer Verschiebung des Maximums hin zu kleineren Frequenzen, hier bei ca. 800 Hz für die Kurven lf. 10 und 11. Insbesondere wandert die Schwerpunktfrequenz bei dem Auftreten des Fehlers eines Luftüberschusses nach links.

Entsprechend einem solchen Vergleich kann durch eine

geeignet ausgebildete Regeleinrichtung das Brennstoff-Luftgemisch eingestellt werden, bis eine optimale Verbrennung gewährleistet ist. Sollte dies nicht möglich sein, kann die Anlage auch Wartungsbedarf signalisieren.

Die Kurven der laufenden Nummern 9 bis 11 aus Fig. 11 basieren auf üblichen Schallaufnahmen, digitalisiert und normiert in Fig. 12 über ein Zeitintervall von etwa 3000 Abtastwerten dargestellt. Diese Schallaufnahmen lassen unaufbereitet die Signifikanz der Kurven, gemäß Fig. 11, nicht erkennen.

Fig. 13, verschiedene Brennzustände von Gas zeigend, läßt im Bereich zwischen 0 und 200 Hz signifikante Unterschiede lediglich hinsichtlich der Amplitude erkennen. Dies ist wenig aussagekräftig für den Betrieb der Anlage, lediglich die Aussage Zündung ja-nein ist problemlos möglich.

Auch in Fig. 13 und der zugehörigen Fig. 14 korrespondieren die laufenden Nummern 3 bis 7 der dort gezeigten Kurven mit der Nummerierung der Versuche in Tabelle I.

In Fig. 14 ist der interessierende Bereich, vergrößert dargestellt, zwischen 600 und 1100 Hz liegend gezeigt.

Zwischen etwa 890 und 900 Hz liegend sind die relativen Maxima der normalen Verbrennung, gemäß der Kurven lf. Nummer 3 und 4 erkennbar. Die Verschiebung eines Maximums, der Schwerpunktfrequenz, hin zu kleineren Frequenzen gemäß lf. Nummer 7, zeigt Luftüberschuß, hier mit CO-Anteil, an. Die Verschiebung nach rechts, gemäß den lf. Nummern 5 und 6, auf Werte von etwa 940 Hz zeigt Luftmangel, hier in Verbindung mit CO-Anteilen, an.

Anhand der Fig. 15 und 16 wird ein bevorzugtes Verfahren nach der Erfindung zur Überwachung und Regelung von Feuerungsanlagen 1 weiter erläutert. Bei diesem Verfahren werden als kennzeichnende Merkmale psychoakustische Kenngrößen verwendet, die insbesondere in ihrer Kombination exakte Aussagen über den Zustand der Anlage erlauben. In der bereits erläuterten Weise werden für die Auswertung digitale Abtastwerte herangezogen, die mittels der Vorrichtung entsprechend Fig. 1 gewonnen werden. Diese digitalen Abtastwerte lassen eine Amplituden/Zeit-Auswertung (Yt-Grafik) bereits zu. Über diese zeitabhängigen Werte kann ein Zeitfenster, hspw. ein sogenanntes Hannig-Fenster, gelegt werden, so daß für eine weitere Berechnung eine bestimmte Anzahl von digitalen Abtastwerten zur Verfügung stehen, beispielsweise bei dem in Fig. 16 gezeigten Fenster 4096 Abtastwerte.

In der zeitlichen Abfolge sollten sich aus Genauigkeitsgründen diese Fenster überlappen, beispielsweise wie gezeigt häufig, so daß 2048 Abtastwerte sich jeweils von Fenster zu Fenster überlappen.

Aus den Werten eines Fensters kann durch geeignete, insbesondere schnelle Rechenoperationen ein Leistungsdichtespektrum gewonnen werden. Insbesondere im Bereich der Fast-Fourier-Transformationen FFT sind bereits hardwaremäßige Implementierungen bekannt, die solche Spektrumsberechnungen äußerst schnell und exakt ausführen können.

Es wird an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, daß es eine Vielzahl von Normierungen, insbesondere hinsichtlich von Spektren gibt, so daß die in Fig. 16 gezeigte quadratische Normierung des Spektrums ausdrücklich als lediglich beispielhaft anzusehen ist. Gleiches gilt hinsichtlich einer Vielzahl von Wichtungen. Hier wesentlich ist lediglich, daß naturgemäß für Vergleiche von aktuellen Werten mit Referenzwerten die selben Normierungen und Wichtungen beibehalten werden.

Abhängig vom Betrieb – stationär oder instationär – erfolgt weiter eine Mittelung der Spektren, wodurch eine gewisse statistische Genauigkeit gegeben ist, so daß einzelne Fehlmessungen von untergeordneter Bedeutung bleiben. Es kann solches durch eine gleitende Blockmittelung erfolgen.

Bei der hier beispielhaft vorgeschlagenen Auswertung der Meßergebnisse hat es sich weiter als zweckmäßig erwiesen, zwei Frequenzbereiche, hier zwischen 0 und 500 Hz sowie zwischen 500 und 1500 Hz, weiter zu betrachten. Die Betrachtung der Bereiche von 0 bis 500 Hz bzw. von 500 bis 1000 Hz führt in der eingangs erläuterten Weise zu Wasserfallgrafiken, wenn beispielsweise die Amplitude der Leichtungsdichtespektren über der Zeit und der Frequenz aufgetragen werden.

Fig. 15 zeigt die spektrale Leistungsdichte aufgetragen über der Frequenz der Beispiele der lf. Nummern 1 und 2 der Tabelle I.

Als erste psychoakustische Kenngröße wird für den Bereich von 0 bis 500 Hz eine mittlere spektrale Dichte, ein Leistungsmittelwert  $g_L$  ermittelt. In gleicher Weise wird eine mittlere spektrale Dichte bzw. Leistungsmittelwert  $g$  für den Bereich von 500 bis 1500 Hz berechnet. Für die Auswertung werden jedoch letztlich nicht die Leistungsmittelwerte für sich betrachtet, sondern als Quotient  $g_L/g$  miteinander verknüpft.

Als weitere psychoakustische Kenngröße wird die spektrale Standardabweichung  $\sigma$  für das Frequenzintervall von 500 bis 1500 Hz berechnet, die gleichfalls wiederum nicht für sich, sondern als Quotient mit dem Leistungsmittelwert  $g$  des selben Intervalls verknüpft, die so die Rauigkeit  $R = \sigma/g$  hier beispielhaft definieren.

Als weiteres kennzeichnendes Merkmal des zu vergleichenden Merkmalvektors wird der Schwerpunkt oder die Schärfe hier in dem Intervall von 500 bis 1500 Hz berechnet. Es ist hier beispielhaft die Schärfe definiert als:

$$F_s = \frac{\int_{500 \text{ Hz}}^{1500 \text{ Hz}} f F(f) df}{\int_{500 \text{ Hz}}^{1500 \text{ Hz}} F(f) df}$$

Diese psychoakustische Kenngröße wird hier für sich allein in die Auswertung des Zustandes der Feuerungsanlage einbezogen.

Es erlauben diese drei psychoakustischen Kenngrößen Aussagen über den Zustand der Feuerungsanlage in signifikanter Art und Weise, vergleiche die Doppelpfeile in der Tabelle II. Wird wie dort gezeigt, der Leistungsmittelwert  $g$  des Intervalls 500 bis 1500 Hz für sich noch mit hinzugenommen, kann die Sicherheit der Aussagen über Fehlerursachen weiter noch erhöht werden.

Auch für dieses Auswerteverfahren müssen Referenzwerte der psychoakustischen Kenngrößen zur Verfügung gestellt werden. Gleichfalls ist für die Klassifikation des Fehlers das Verfahren durch Bestimmung der Referenzwerte an die jeweilige Anlage gleichsam in einem Lernvorgang zu adaptieren, vergleiche Fig. 7.

Durch das Verfahren nach der Erfindung ist das Erkennen und Beurteilen der Qualität, allgemein des Brennerstarts, der Startleistung, des allgemeinen Betriebes, ggfs. der Druckverlust, der Zustand der Wärmetauscher, abgasseitig, durchaus feststellbar, dies ggfs. in Kombination mit Temperatursensoren, Drucksensoren oder dergleichen mehr. In Verbindung mit der vorgestellten Überwachung sind die Meßergebnisse dieser bekannten Überwachungselemente deutlich verbessert bewertbar, da eine Korrelation mit den tatsächlichen Ist-Werten der Verbrennung möglich ist, die

mit den Werten einer optimal arbeitenden Anlage in Bezug setzbar sind.

Gleichfalls ist nachgeschaltet eine Regelung der Feuerungsanlage möglich. Hier ist insbesondere an eine Verbrennungsluft-Brennstoffregelung gedacht, welche die Brenneinstellung nachregelt. Je nach Vorgabe durch die Feuerungsanlage selbst kann beispielsweise auch eine Änderung der Drehzahl eines Gebläses erfolgen, eine Druckänderung innerhalb eines pneumatischen Verbundes, eine Umstellung innerhalb eines mechanischen Verbundes, beispielsweise eine Drosselklappenregelung oder dergleichen mehr. Solches wird regelmäßig durch die Feuerungsanlage selbst vorgegeben sein und ist hieran in Anpassung lediglich der Regelteil auf das erfindungsgemäße Verfahren abzustimmen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Überwachung von Feuerungsanlagen, **dadurch gekennzeichnet**, daß einmalig ein Zeit-Frequenz-Geräuschamplituden-Diagramm erstellt wird, welches insbesondere den Zündvorgang, den normalen Brennvorgang, ggf. daß Hinzuschalten weiterer Brennerstufen und deren normale Brennvorgänge und/oder eine stufenlose Regelung an der optimal eingestellten Feuerungsanlage (1) erfaßt, daß der reguläre Betrieb der Feuerungsanlage (1) akustisch überwacht wird, daß während des Betriebs auf Basis der akustischen Überwachung ein Frequenz-Geräuschamplituden-Diagramm erstellt wird, und daß eine Auswerteeinheit mit zeitlicher Korrelation die auf dem Frequenz-Geräuschamplituden-Diagramm basierenden Daten mit den auf dem Zeit-Frequenz-Geräuschamplituden-Diagramm basierenden Daten auf Übereinstimmung innerhalb einer vorgebbaren Bandbreite überwacht und bei Überschreiten der Bandbreite einen Fehler anzeigt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für das Erstellen der Diagramme die selbe Mikrofonanlage verwendet wird.
3. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Mikrofonanlage wenigstens ein Mikrofon (5, 6) für eine Nutzscharlmessung aufweist für das Erfassen des Luftschalls (3) im Brennraum (2) der Feuerungsanlage (1).
4. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine aktive Störgeräuschbedämpfung vorgesehen ist.
5. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß für die Mikrofonanlage wenigstens zwei Mikrofone (5, 17) vorgesehen sind, daß wenigstens ein Mikrofon als Nutzscharlmikrofon (5) und daß wenigstens ein zweites Mikrofon als Störscharlreferenzmikrofon (17) für eine aktive Störgeräuschbedämpfung vorgesehen ist.
6. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Mikrofon (5) einerseits in einer Leitung (9) angeordnet ist, mit welchem es einen einseitig offenen Resonator ausbildet.
7. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei dem Nutzscharlmikrofon (5) die Leitung (9) mit ihrem freien Ende (20) mit der Feuerungsanlage (1) verbunden ist und daß die Leitungslänge (L) auf einen akustisch interessierenden Bereich resonanzmäßig abgestimmt ist.

8. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Leitung (9) mit ihrem freien Ende (20) an einem Meßanschlußstutzen für den Feuerungsdruck oder an einem Schauglas (8) für die optische Brennerüberwachung angeschlossen ist.

9. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Nutzscharlmikrofon (5) durch eine Folie (21) leitungsinnenscitig geschützt ist.

10. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Nutzscharlmikrofon innerhalb des Brennraums (2) angeordnet ist.

11. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Mikrofonsignal ( $n + s_1$ ) des Nutzscharlmikrofons (5) einem Vorverstärker (10) zugeführt wird, daß das verstärkte Signal über einen Bandpaßfilter (11) einem Analog/Digitalumsetzer (12) zugeführt wird und daß eine Steuereinheit (26) die Verstärkung (V) des Signals ( $n + s_1$ ) steuert für eine optimale Nutzung der Bitbreite des A/D-Umsetzers (12).

12. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Mikrofonsignal ( $s_2$ ) des Störscharlreferenzmikrofons (17) einem Vorverstärker (18) zugeführt wird, daß das verstärkte Signal über einen Bandpaßfilter (19) einem Analog/Digital-Umsetzer (24) zugeführt wird, daß eine Steuereinheit (27) die Verstärkung (V) des Signals ( $s_2$ ) steuert für eine optimale Nutzung der Bitbreite des A/D-Umsetzers (24), daß das digitalisierte Signal weiter einem adaptiven transversalen Digitalfilter (ATDF) (25) zugeführt wird und daß dessen Ausgangssignal ( $s_2^*$ ) mit dem Ausgangssignal ( $n^* + s_1^*$ ) des A/D-Umsetzers (12) für das Nutzscharlmikrofon (5) verknüpft einen Schätzwert (n) für das ungestörte, bearbeitete Nutzscharl (n) darstellt.

13. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Frequenzbereich in Intervalle aufgeteilt wird, daß kennzeichnende Merkmale der Intervalle berechnet werden, daß Merkmalvektoren ( $\underline{m}$ ) erstellt werden und daß als Daten die Elemente ( $m_{iRef}$ ) des Merkmalvektors ( $\underline{m}_{Ref}$ ) der optimal eingestellten Feuerungsanlage (1) als Referenzelemente und die Elemente ( $m_i$ ) des Merkmalvektors ( $\underline{m}$ ) der im regulären Betrieb befindlichen Feuerungsanlage (1) verglichen werden.

14. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Elemente ( $m_i$ ,  $m_{iRef}$ ) des Merkmalvektors ( $\underline{m}$ ,  $\underline{m}_{Ref}$ ) Kurzzeitspektren sind.

15. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Spektren Leistungsdichtespektren sind.

16. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Mittelung der Spektren erfolgt.

17. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der in Intervalle aufgeteilte Frequenzbereich zwischen 0 und 1500 Hz liegt.

18. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Frequenzbereich in gleich große Intervalle aufgeteilt ist.

19. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet,

daß der Bereich in unterschiedlich große Intervalle aufgeteilt ist.

20. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß sich Intervalle überlappen.

21. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Überwachung eines Zündvorgangs ein Frequenzbereich von 0 bis 200 Hz genutzt wird.

22. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Überwachung eines Zündvorgangs die den Frequenzbereich von 0 bis 200 Hz abdeckende Elemente ( $m_i$ ) des Merkmalvektors ( $\underline{m}$ ) mit den den gleichen Bereich abdeckenden Referenzelementen ( $m_{iRef}$ ) der optimal eingestellten Feuerungsanlage (1) verglichen werden.

23. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Überwachung des normalen Brennvorgangs ein Frequenzbereich von 350 Hz bis 5000 Hz, insbesondere bis 1500 Hz, genutzt wird.

24. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Überwachung des normalen Brennvorgangs die den Frequenzbereich oberhalb von 350 Hz abdeckende Elemente ( $m_i$ ) des Merkmalvektors ( $\underline{u}$ ) mit den den gleichen Bereich abdeckenden Referenzelementen ( $m_{iRef}$ ) der optimal eingestellten Feuerungsanlage (1) verglichen werden.

25. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß kennzeichnende Merkmale psychoakustische Kenngrößen sind.

26. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als kennzeichnende Merkmale Schwerpunkte und/oder Schärfen ( $f_s$ ,  $F_s$ ) berechnet werden.

27. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als kennzeichnende Merkmale Rauigkeiten (R) berechnet werden.

28. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als kennzeichnende Merkmale Leistungsmittelwerte ( $g$ ,  $g_L$ ) berechnet werden.

29. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als kennzeichnende Merkmale Standardabweichungen ( $\sigma$ ) berechnet werden.

30. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als kennzeichnende Merkmale bereits berechnete Merkmale miteinander verknüpft werden.

31. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Referenzschwerpunktfrequenz ( $f_{sRef}$ ) bzw. Schärfe ( $F_{sRef}$ ) der optimal eingestellten Feuerungsanlage (1) für einen Frequenzbereich berechnet wird, daß eine Schwerpunktfrequenz ( $f_s$ ) bzw. Schärfe ( $F_s$ ) der im regulären Betrieb befindlichen Feuerungsanlage (1) für den gleichen Frequenzbereich berechnet wird und daß nach einem Überschreiten der aktuellen Schwerpunktfrequenz ( $f_s$ ) bzw. Schärfe ( $F_s$ ) einer vorgebbaren Bandbreite um die Referenzschwerpunktfrequenz ( $f_{sRef}$ ) bzw. Schärfe ( $F_{sRef}$ ) die Auswertevorrichtung einen Fehler anzeigt.

32. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei

einer Frequenzerniedrigung der Schwerpunktfrequenz ( $f_s$ ) bzw. Schärfe ( $F_s$ ) die Auswertevorrichtung einen Luftüberschuß detektiert, verglichen mit der Referenzschwerpunktfrequenz ( $f_{sRef}$ ) bzw. Schärfe ( $F_{sRef}$ ).

33. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer Erniedrigung des Wertes der Rauigkeit (R) die Auswertevorrichtung einen Luftüberschuß detektiert, verglichen mit einem Referenzwert der Rauigkeit.

34. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß für ein niederfrequentes Intervall ein Leistungsmittelwert ( $g_L$ ) berechnet wird, daß für ein anschließendes höherfrequentes Intervall ein Leistungsmittelwert ( $g$ ) errechnet wird, daß durch eine Quotientenbildung ( $g_L/g$ ) der beiden Leistungsmittelwerte die Auswertevorrichtung einen Luftmangel detektiert, verglichen mit einem Referenzwert des Quotienten.

35. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer Erniedrigung des Wertes der Rauigkeit (R) und einem Anstieg der Schärfe ( $F_s$ ) die Auswertevorrichtung eine Verschmutzung detektiert, verglichen mit einem Referenzwert der Rauigkeit bzw. der Schärfe.

36. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß von der Auswerteeinheit in Abhängigkeit einer Abweichung eines oder mehrerer kennzeichnender Merkmale von Referenzmerkmalen gesteuert eine Verbrennungsluft-Brennstoffregeleinrichtung die Brennereinstellung nachregelt.

---

Hierzu 9 Seite(n) Zeichnungen

---

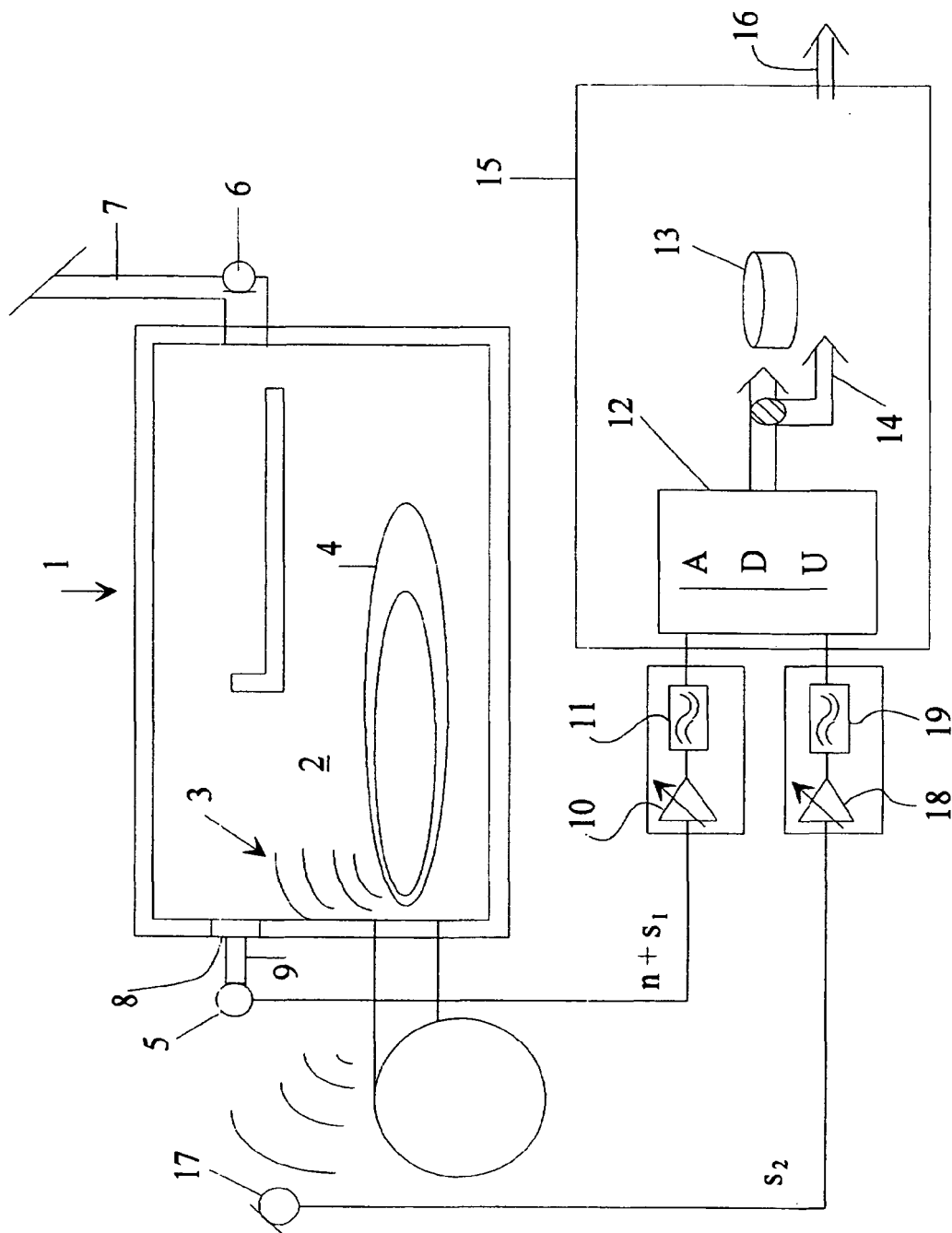


Fig. 1

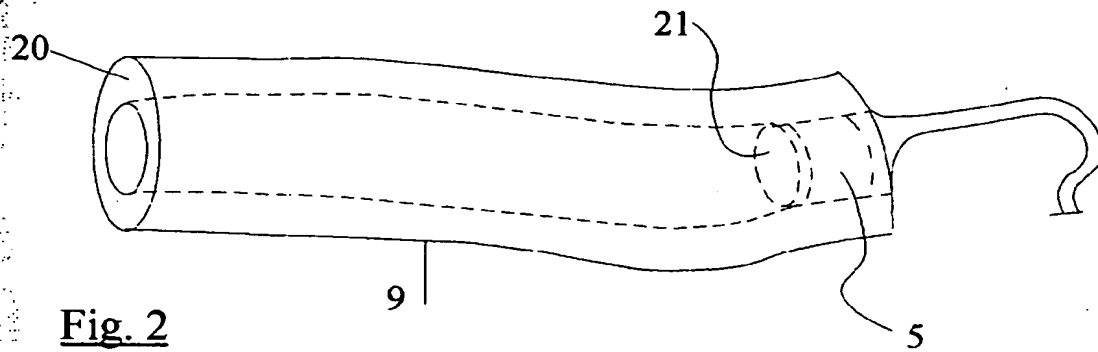


Fig. 2

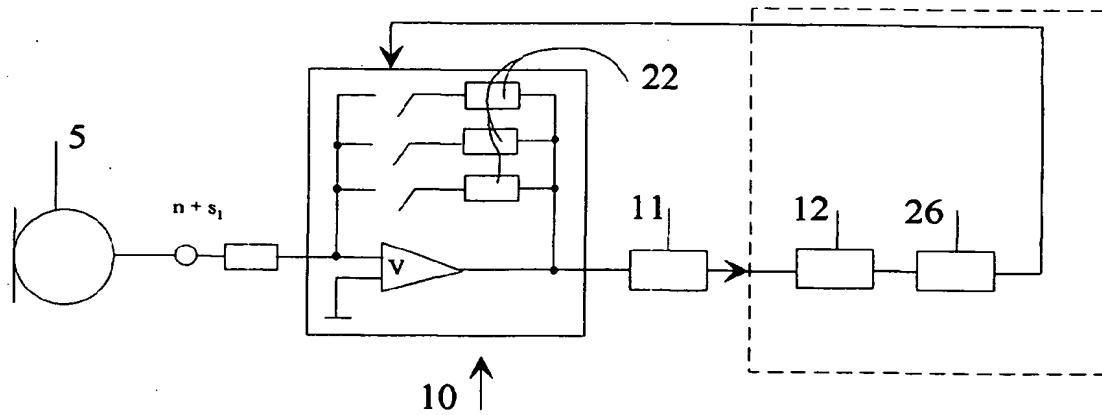


Fig. 3

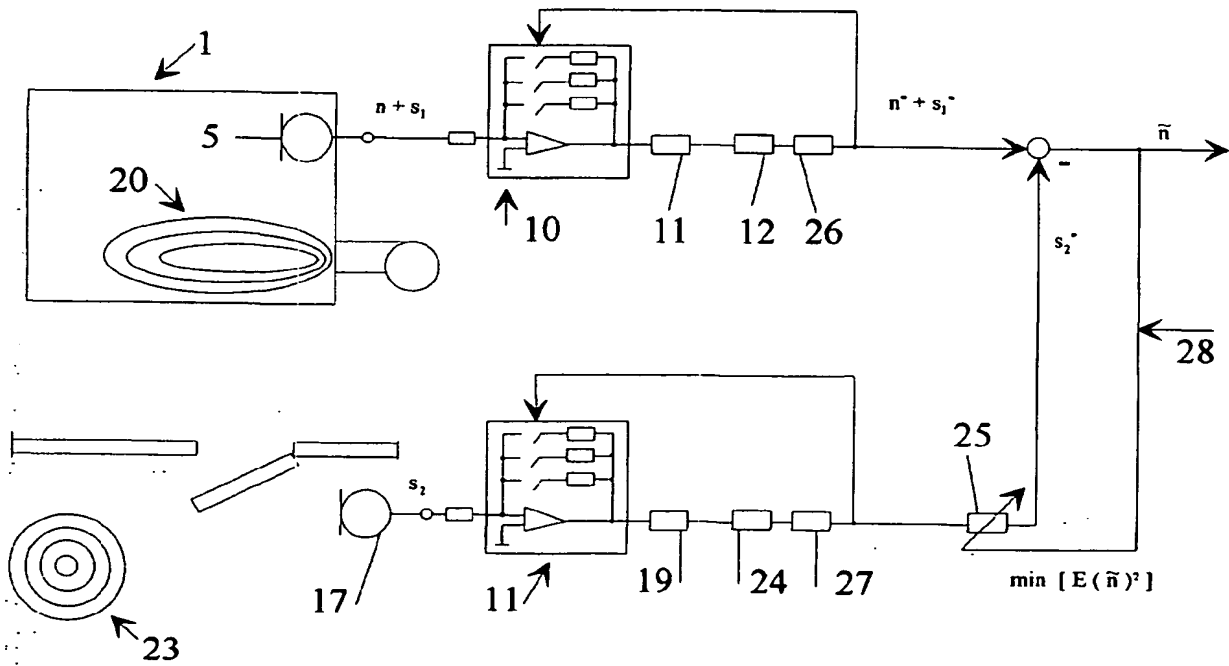
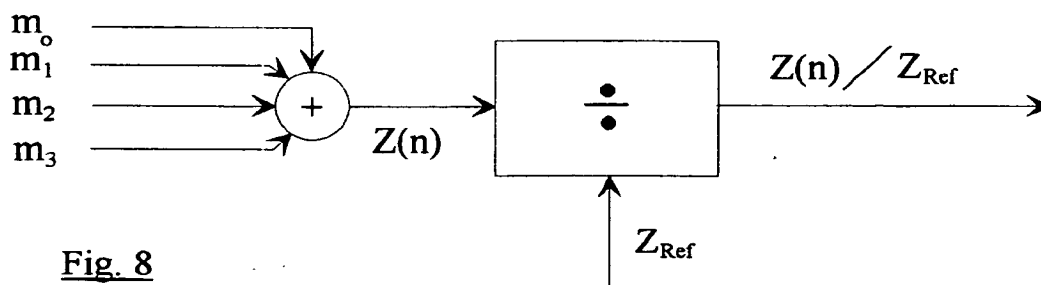
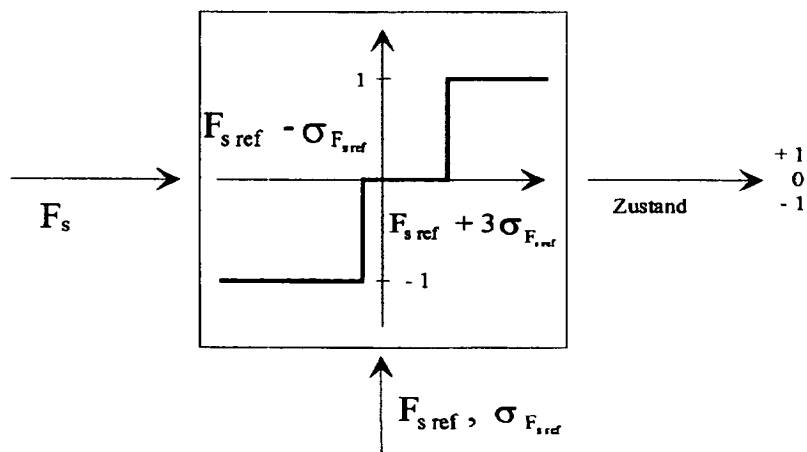
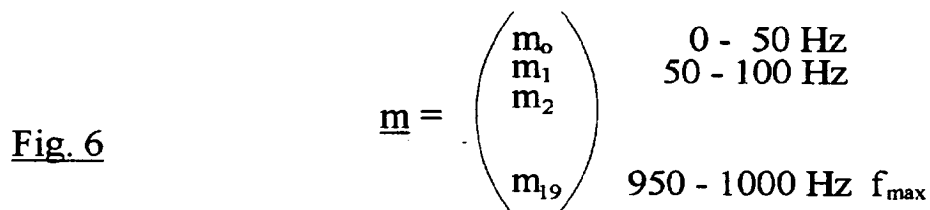
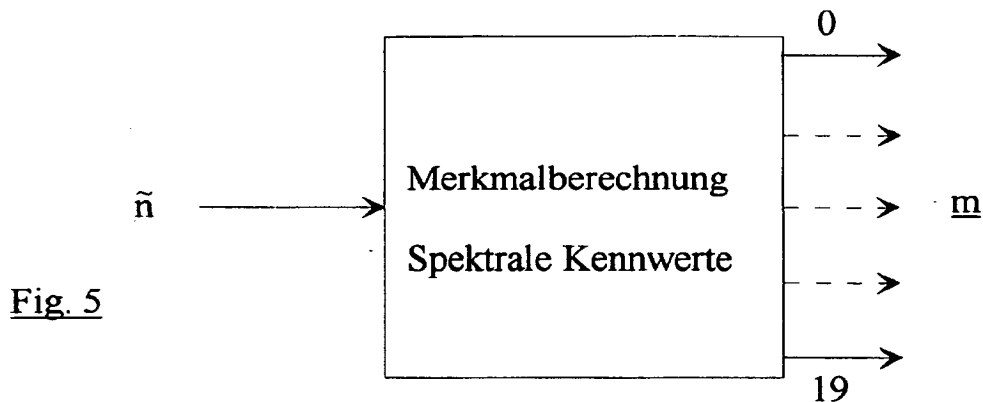


Fig. 4





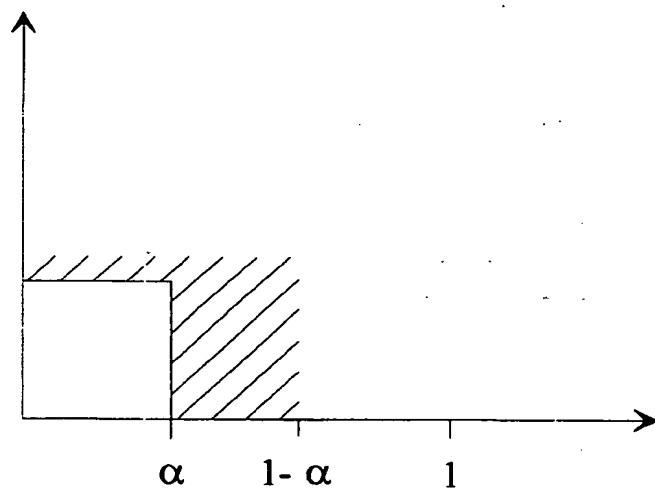


Fig. 9

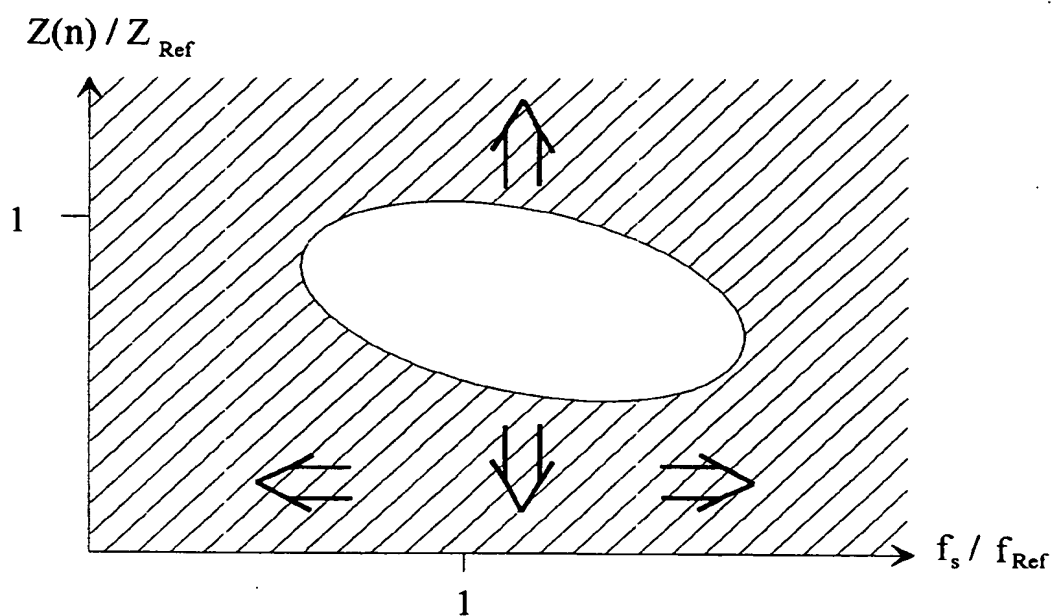
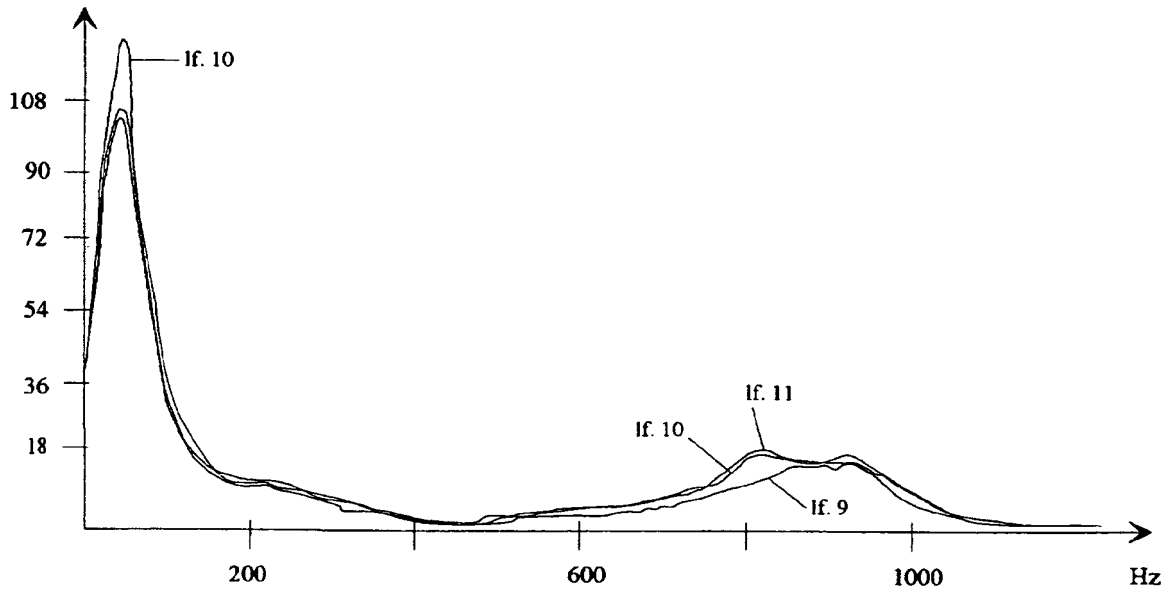
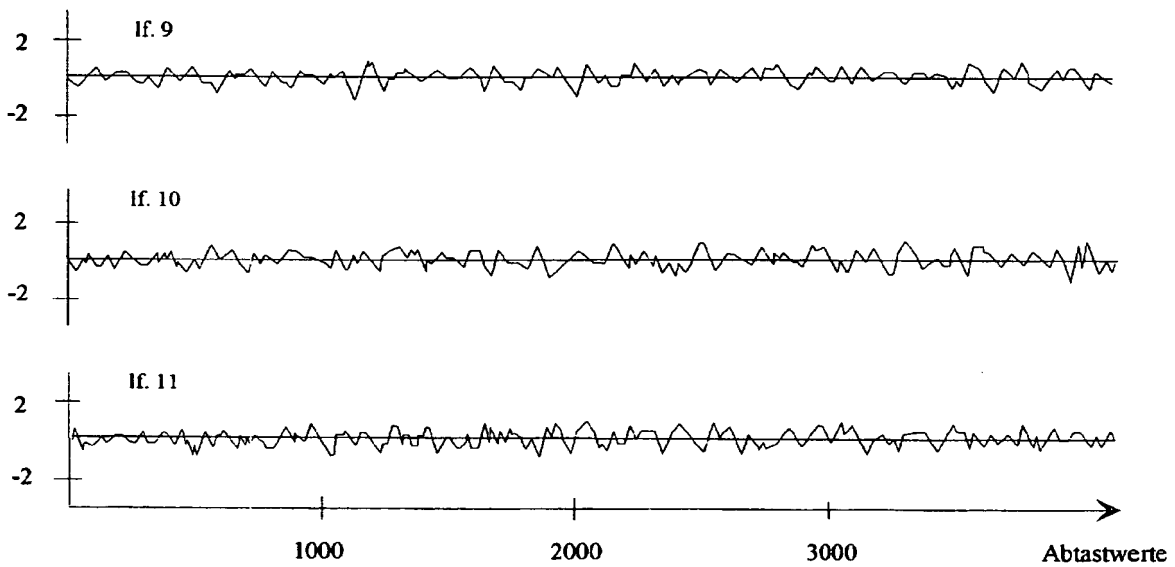


Fig. 10



**Fig. 11**



**Fig. 12**

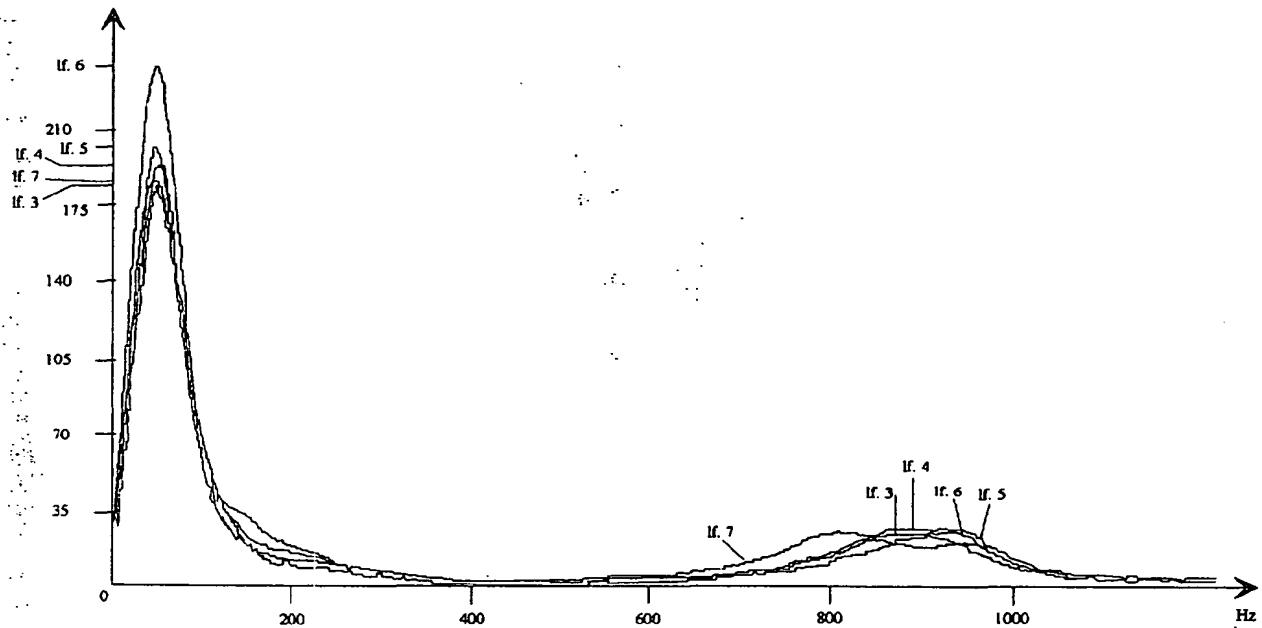


Fig. 13

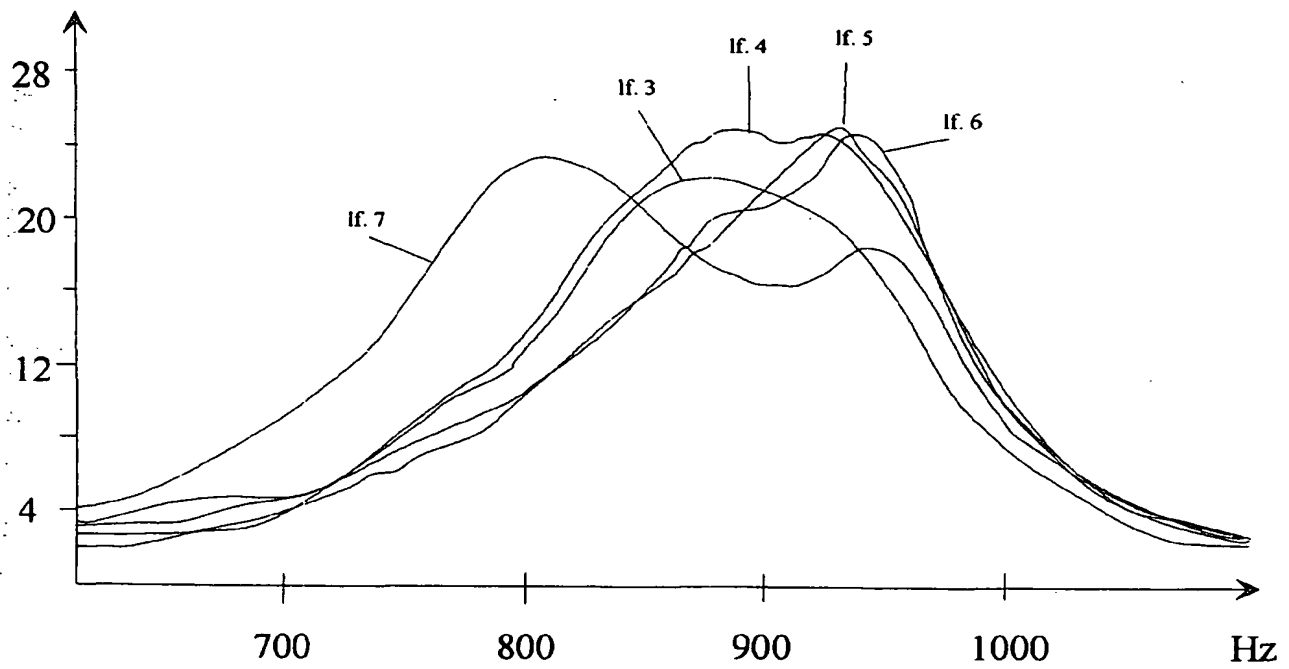


Fig. 14

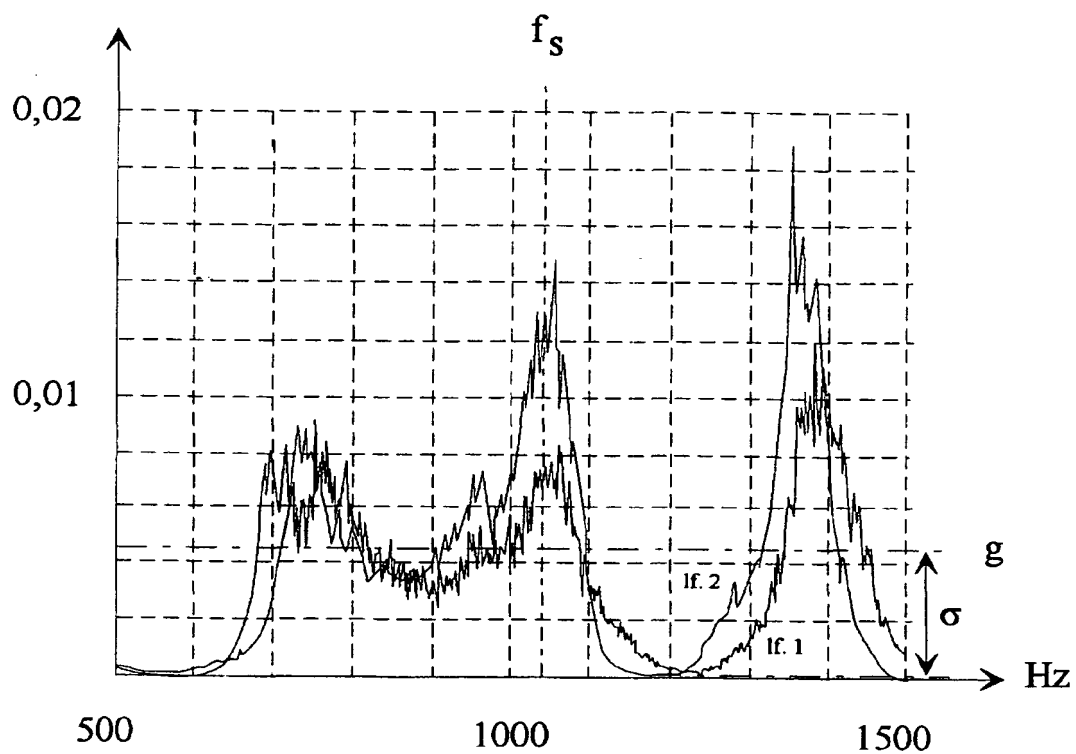
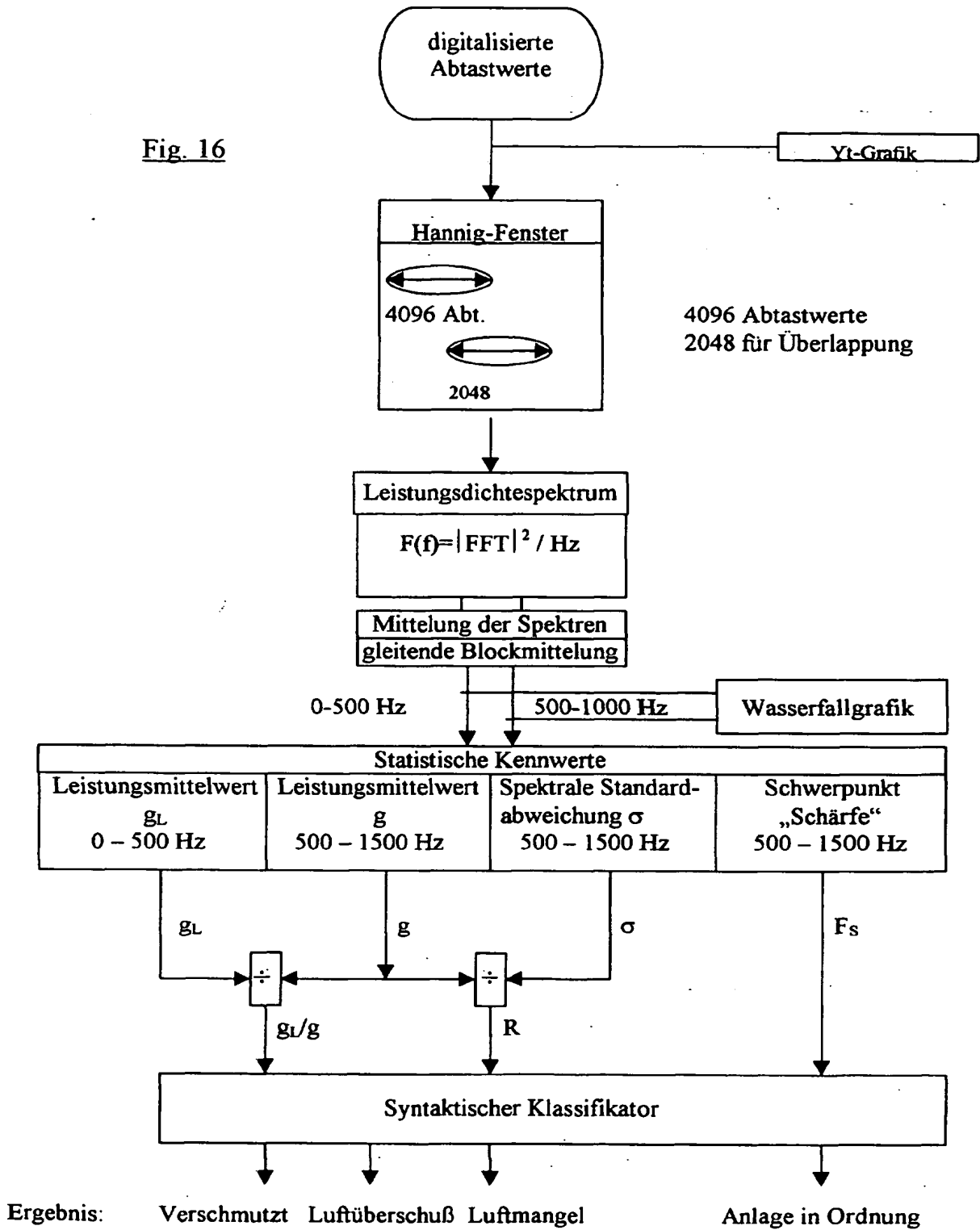


Fig. 15

Fig. 16



Nr.	$\sigma$	g	R	$g_L$	$f_s$	$g_L/m$	Klassen
1	0,006	0,004	1,548	0,282	1067,302	74,155	Verschmutzt
2	0,007	0,005	1,646	0,321	1048,192	70,688	OK (nach Reinigung)
3	0,03	0,01	3,008	0,614	888,386	60,857	OK
4	0,032	0,011	2,838	0,555	892,494	49,829	OK
5	0,026	0,009	2,857	0,772	899,448	84,438	LM (Luftmangel)
6	0,023	0,008	2,797	0,761	902,372	94,628	LM (Luftmangel)
7	0,027	0,012	2,339	0,636	853,421	54,434	LU (Luftüberschuß)
8	0,026	0,009	3,021	0,72	893,385	82,999	LM (Luftmangel)
9	0,015	0,005	2,815	0,142	878,143	27,054	OK
10	0,018	0,007	2,408	0,214	856,73	28,878	LU (Luftüberschuß)
11	0,019	0,008	2,472	0,174	862,339	22,82	LU (Luftüberschuß)
12	0,136	0,044	3,06	1,095	775,499	24,738	OK
13	0,126	0,041	3,037	1,044	773,06	25,29	LM (Luftmangel)
14	0,128	0,042	3,033	1,053	777,198	25,062	LM (Luftmangel)
15	0,121	0,039	3,139	1,369	779,905	35,523	LM (Luftmangel)

Tabelle I

ausgewählte Kennwerte	mittl. Leist. 500-1500Hz	spektrale Rauigkeit	Schärfe 500-1500 Hz	Mittl. Leist. 0 - 500 Hz
	g	R	$f_s$	$g/g_L$
LU	↑	↓	↓	
LM	↓	~	→	LU
Schmutz	~	↓	↑	LM

Tabelle II

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**BLANK PAGE**